

УДК 621.317.727

**КОМБІНОВАНА ЗРАЗКОВА МІРА ЕЛЕКТРОРУШІЙНОЇ СИЛИ ТА НАПРУГИ****Г.І. Барило, Є.В. Походило, О.В. Бойко***Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, тел. (8-032) 258-23-94*

*Рассмотрены структурные схемы построения комбинированных образцовых мер электродвижущей силы и напряжения. Показано, что отклонение исходного напряжения полупроводниковой меры после передачи ей значения электродвижущей силы нормируемого элемента при  $t=20\pm 1^\circ\text{C}$  не превышает  $\pm 20\text{ мкВ}$ , а при  $t=20\pm 2,5^\circ\text{C}$  –  $\pm 50\text{ мкВ}$  в течение 24 часов работы.*

Як зразкові міри в електровимірювальній техніці використовуються нормальні елементи [1, 2], прецизійні стабілітрони та міри напруги на базі прямозміщених *p-n* переходів транзисторів [3, 4].

Основною перевагою насичених нормальних елементів є висока часова стабільність вихідної напруги, а їх недоліком є висока температурна залежність значення електродвижущої сили (е.р.с.) (приблизно  $40\text{ мкВ}/^\circ\text{C}$ ), значний вихідний опір (до  $1000\text{ Ом}$ ), обмежене значення струму навантаження (не більше  $0,2\text{ мкА}$ ) і вплив транспортних факторів.

Нормальні насичені елементи типу Х482 допускають струм навантаження  $0,02\text{ мкА}$  протягом однієї хвилини з періодом 24 годин. Після навантаження струмом  $1\text{ мкА}$ , значення нормального елемента відновлюються за 36 годин. Ці недоліки обмежують область використання нормальних елементів.

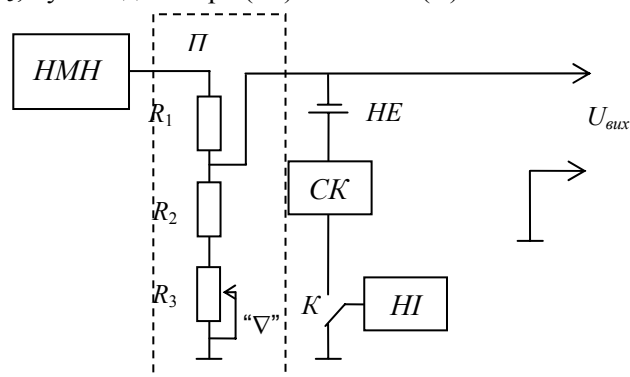
Основним недоліком напівпровідникових мір є значна часова нестабільність вихідної напруги. Тому вдосконалення мір на основі нормальних елементів і напівпровідникових елементів є актуальною задачею.

Основними перевагами мір напруги на напівпровідникових елементів є малий вихідний опір і відсутність впливових факторів від дії струму перевантажень та транспортних впливів.

Використовуючи переваги мір на нормальних елементах і напівпровідних мір, можна створити об'єднану міру е.р.с., яка об'єднає переваги цих мір.

*The diagrams of flows of construction of the combined exemplary measures of electromotive force and tension are considered. It is shown that rejection of initial tension of semiconductor measure after a transmission to her at  $t=20\pm 1^\circ\text{C}$  does not exceed the value of electromotive force of the rationed element  $\pm 20\text{ мкВ}$ , and at  $t=20\pm 2,5^\circ\text{C}$  –  $\pm 50\text{ мкВ}$  during a 24 o'clock of work.*

На рис.1 наведено структурну схему спроектованої комбінованої міри, яка складається з нормального елемента (HE) зі схемою температурної компенсації (CK), напівпровідникової міри напруги (HMH), подільника напруги (ПН) на резисторах  $R_1$ ,  $R_2$  і  $R_3$ , нуль-індикатора (HI) та ключа (K).



**Рисунок 1 – Структурна схема комбінованої зразкової міри е.р.с.**

Для забезпечення робочого температурного діапазону нормального елемента в діапазоні  $20\pm 1^\circ\text{C}$ , застосовано температурну компенсаційну схему.

Принципову схему міри е.р.с. на нормальному елементі наведено на рис. 2.

Вона складається з безкорпусного нормального елемента, компенсаційної схеми 1, термовирівнювача 2, пасивного термостата 3. Компенсаційна схема складається з термозалежного резистивного моста на

резисторах  $R_{t1}$ ,  $R_{t2}$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_4$  і  $R_5$ . Живлення моста здійснюється від напруги живлення рівною 1,5 В через термозалежний резистивний подільник  $R_3$ ,  $R_6$ ,  $R_{t3}$ . Балон нормального елемента конструктивно встановлений в мідний термовирівнювач. Біля електродів розміщені три термозалежні резистори  $R_{t1}$ ,  $R_{t2}$ ,  $R_{t3}$ . Для збільшення температурного контакту між терморезисторами і термовирівнювачем використано теплопровідну пасту.

Для зменшення впливу вихідного опору компенсаційної схеми на загальний вихідний опір міри є.р.с. необхідно, щоб виконувалася умова  $R_{HE} + R_M \leq 1 \text{ кОм}$  [1], де  $R_{HE}$ ,  $R_M$  – вихідні опори нормального елемента та мостової схеми відповідно.

Вихідна напруга компенсаційної схеми при умові  $R_{t3} = R_{t1} + R_{t2} = R_t$ ,  $R_1 + R_4 = R_2 = R_5 = R$  описується таким виразом:

$$\Delta E_k = \frac{U \cdot R_t \cdot R_M}{2(R_3 + R_6 + R_t)(R_n + R_M)} \cdot \frac{R - R_t}{R + R_t}, \quad (1)$$

де  $R_M = \frac{2R^2 + 2R \cdot R_t}{3R + R_t}$  – загальний опір мостової

схеми;  $R_n = \frac{(R_3 + R_6) \cdot R_t}{R_3 + R_6 + R_t}$  – вихідний опір

подільника напруги живлення.

Для повної температурної компенсації зміни є.р.с. нормальних насичених елементів необхідно, щоб вихідна напруга компенсаційної схеми від зміни температури дорівнювала зміні є.р.с. нормальних елементів, тобто

$$\Delta E_k(t) = \Delta E_n(t), \quad (2)$$

Абсолютне відхилення є.р.с. нормального елемента описується виразом

$$\Delta E_n(t) = A \cdot (t - t_n) + B \cdot (t - t_n)^2 - C \cdot (t - t_n)^3,$$

де  $t$ ,  $t_n$  – значення температури навколишнього середовища та нормованої температури відповідно;  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – температурні коефіцієнти, які при нормованій температурі  $20^\circ\text{C}$  дорівнюють  $40,6 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}$ ;  $0,95 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}^2$ ;  $-0,01 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}^3$  відповідно [1].

Абсолютне значення похибки від неповної компенсації температурної зміни є.р.с. дорівнює

$$\Delta(t) = \Delta E_k(t) - \Delta E_n(t), \quad (3)$$

Точність компенсації зміни є.р.с.  $HE$  від температури досягається вибором значень резисторів термозалежного резистивного моста. Для компенсаційних мостових схем з мідними терморезисторами з номінальним значенням

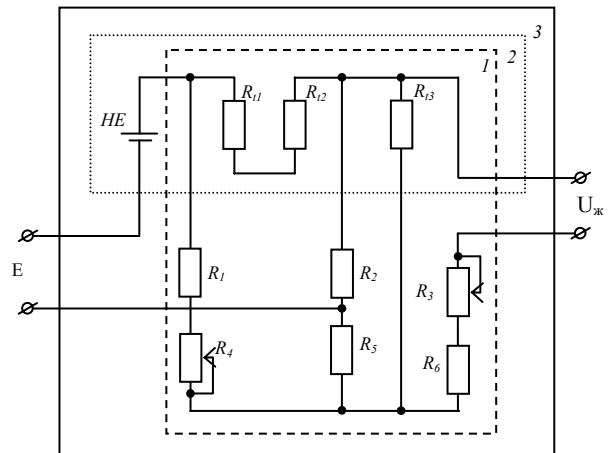


Рисунок 2 – Міра є.р.с. з температурною компенсацією

$R_{t(0)} = 100 \text{ Ом}$  залежність відхилення є.р.с. нормального елемента та компенсаційної схеми при зміні температури в діапазоні від  $19^\circ\text{C}$  до  $21^\circ\text{C}$  наведено на рис.3.

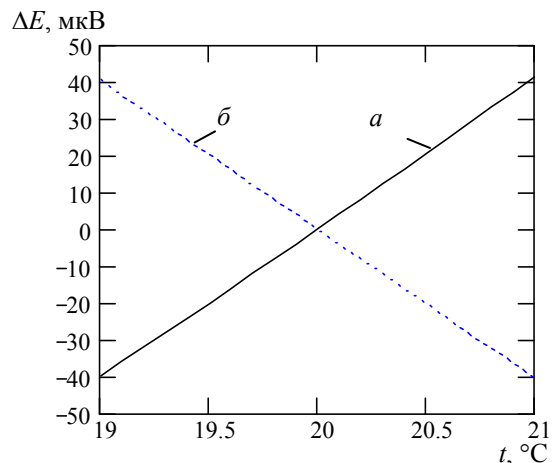
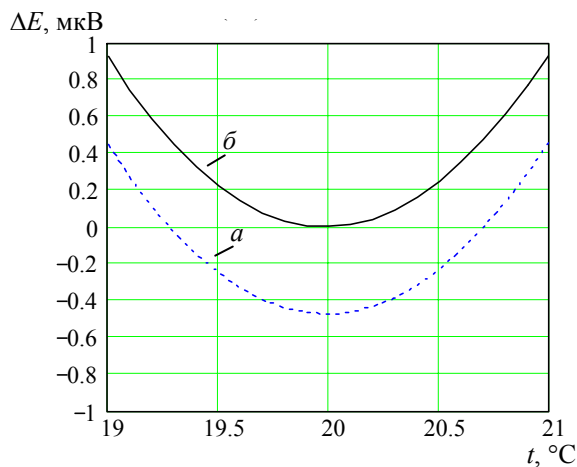


Рисунок 3 – Залежності відхилення вихідної напруги нормального елемента (а) і компенсаційної схеми (б) від температури.

Залежності абсолютної похибки від неповної компенсації температурної зміни є.р.с. при відхиленні температури від нормованого значення для різних параметрів мостової схеми наведено на рис.4. Спеціальним вибором резисторів мостової схеми можна досягнути відхилення вихідної напруги не більше  $1 \text{ мкВ}$  в діапазоні зміни температури  $\pm 1^\circ\text{C}$  (крива а) і не більше  $0,45 \text{ мкВ}$  в діапазоні  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  (крива б).



**Рисунок 4 – Залежності абсолютної похибки вихідної напруги міри від температури**

Напівпровідникова міра побудована на мікросхемах типу LM4140VCM1.0, яка формує вихідну напругу значення 1,0240 В і забезпечує часову стабільність  $\pm 60$  мкВ за 1000 год. Для забезпечення рівності вихідної напруги напрузі нормального елемента застосовано резистивний подільник (рис.1).

Нуль-індикатор побудований на двох послідовно з'єднаних операційних підсилювачах з вихідним світлодіодним індикатором. За допомогою нуль-індикатора і ключа здійснюється передача значення одиниці е.р.с. нормального елемента напівпровідниковій мірі. За допомогою резистора  $R_3$  (рис.1).

досягається рівність вихідних напруг напівпровідникової міри з резистивним подільником і нормального елемента з температурною компенсацією.

Результати проведених дослідження приведених вище схем (рис. 1 і рис. 2) показали, що відхилення вихідної напруги напівпровідникової міри після передачі її значення одиниці е.р.с. нормального елемента при  $t=20\pm 1^\circ\text{C}$ , забезпечує часову стабільність  $\pm 20$  мкВ протягом 24 години в діапазоні температур  $\pm 2^\circ\text{C}$  і  $\pm 50$  мкВ в діапазоні температур  $\pm 5^\circ\text{C}$ , що забезпечує клас точності відповідно 0,002 і 0,005.

### Література

1. ГОСТ 1954-82. Меры электродвижущей силы. Элементы нормальные Общие технические требования.
2. Дорожовець М., Мотало В., Стадник Б. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки / За ред. проф. Б.Стадника. – Львів: Видавництво НУ “Львівська політехніка”, 2005. – Т.2. Вимірювальна техніка. – 656 с.
3. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка / За ред. проф. Є.С.Поліщука. – Львів: Видавництво “Бескид Біт”, 2003. – 544 с.
4. Барило Г., Готра О., Бойко О., Кучмій Г. Мікроелектронна міра напруги та електрорушійної сили // Вісник НУ “Львівська політехніка” “Елементи теорії та прилади твердотілої електроніки” – 2006. – №569. – С. 112-115.